

ANÁLISIS DE LA SEÑAL CLIMÁTICA EN CRONOLOGÍAS DE *Fagus sylvatica* Y *Quercus robur* EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA CORNISA CANTÁBRICA

ROZAS ORTIZ, Vicente; LAMAS POSE, Sonia.

Centro de Investigación e Información Ambiental de Lourizán (Pontevedra)

RESUMEN

Se analizaron las respuestas climáticas de tres cronologías de *Fagus sylvatica* y tres de *Quercus robur* en la región central de la Cornisa Cantábrica. Se utilizaron datos climáticos regionales y el índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO) como predictores climáticos. Las correlaciones mayores y más extensas en el tiempo se obtuvieron entre cronologías de la misma especie y similar altitud. El 37-50% de la variación del crecimiento fue explicada por el clima regional, mientras que la NAO explicó un 13-26%. La elevada temperatura estival del año previo al crecimiento y la baja temperatura invernal fueron factores limitantes para *F. sylvatica* por encima de 700 m de altitud. El crecimiento de *Q. robur* estuvo limitado por la elevada temperatura primaveral del año previo y por la sequía estival del año de crecimiento. Ambas especies mostraron una relación negativa con los índices NAO invernales. Estos resultados sugieren la necesidad de investigaciones más extensas sobre la respuesta climática a lo largo de la Cornisa Cantábrica.

Palabras clave: anillos de crecimiento, dendrocronología, respuesta climática, clima regional, NAO.

ABSTRACT

The climatic responses of three *Fagus sylvatica* and three *Quercus robur* tree-ring chronologies in the central Cantabrian region, were analysed. Regional temperature and precipitation data, and the climatic teleconnection indices of the North Atlantic Oscillation (NAO), were used as climatic predictors. Chronologies of the same species and similar altitudes showed the highest cross-correlations, which were significant at widest timescales. Between 37 to 50% of growth variance was explained by regional climate, while 13 to 26% was related to monthly NAO indices. High summer temperatures in the year prior to ring formation and low winter temperatures limited *F. sylvatica* growth at altitudes over 700 m. *Q. robur* radial growth was limited by high spring temperatures in the previous year and summer drought in the year the ring was formed. Growth of both species displayed negative relationship with winter NAO indices. The obtained results suggest that more exhaustive research, regarding the analysis of the climatic response along the complete Cantabrian region, is required.

Key words: tree rings, dendrochronology, climatic response, regional climate, NAO.

1. INTRODUCCIÓN

Las cronologías elaboradas a partir de las anchuras de los anillos de crecimiento de diversas especies arbóreas constituyen registros fiables de las condiciones climáticas pasadas. En las regiones templadas, los efectos de la variabilidad climática sobre la productividad forestal y el crecimiento radial de las especies de frondosas caducifolias no están tan bien caracterizados como en las regiones boreales y semiáridas (PEDERSON *et al.*, 2004). En general, las especies de los bosques templados no presentan un patrón regular de respuesta climática, con unas bases fisiológicas y ecológicas que expliquen los efectos de las fluctuaciones climáticas sobre el crecimiento radial. Cada especie suele tener una respuesta propia a los factores climáticos, la cual puede variar a lo largo de gradientes ambientales y depender en gran medida de las condiciones locales y regionales (TESSIER *et al.*, 1994; DITTMAR *et al.*, 2003).

Para evaluar la respuesta climática del crecimiento de una especie a una escala regional se utilizan datos climáticos regionales, calculados como el promedio de los registros de estaciones meteorológicas en una región (BLASING *et al.*, 1981). La utilización de datos climáticos regionales para el análisis de la respuesta climática pone de manifiesto la existencia de una variabilidad local, la cual puede ser evaluada (DITTMAR *et al.*, 2003; TARDIF *et al.*, 2003). En la Cornisa Cantábrica, las frondosas caducifolias, en especial del género *Quercus* spp. y *Fagus sylvatica*, substituyen a las coníferas como especies forestales dominantes. Durante los últimos años se han realizado algunos trabajos relativos a la respuesta climática de estas especies en España (GUTIÉRREZ, 1988; ROZAS, 2001; GARCÍA GONZÁLEZ y ECKSTEIN, 2003; ROZAS, 2005).

La oscilación del Atlántico Norte (*North Atlantic Oscillation*, NAO) constituye un importante sistema de teleconexión climática en el hemisferio norte que afecta a la temperatura, la precipitación y la circulación atmosférica sobre gran parte del continente europeo, norte de África y este de Norte América (HURRELL, 1995). En los últimos años diversos trabajos han manifestado los efectos de la NAO sobre el crecimiento radial de los árboles en distintas regiones de Europa (PIOVESAN y SCHIRONE, 2000; MÄKINEN *et al.*, 2003). Algunas de las cronologías de anchuras de anillos más sensibles a la NAO han sido utilizadas para reconstruir la variación de este patrón de circulación atmosférica a lo largo de las últimas centurias (COOK *et al.*, 2002).

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de la respuesta climática en cronologías de *Fagus sylvatica* y *Quercus robur* de la zona central cantábrica en el norte de España. Se evaluó la respuesta del crecimiento radial de ambas especies a la temperatura y precipitación regionales, así como la señal macroclimática contenida en las cronologías, expresada en forma de índices de teleconexión climática de la NAO. La comparación de las cronologías locales y la evaluación de la respuesta climática de las mismas, permitió valorar los efectos de factores locales sobre la señal climática en el crecimiento radial de los árboles.

2. MATERIAL Y METODOS

Los datos climáticos utilizados se tomaron de las estaciones meteorológicas de Gijón (43°30'N, 05°31'O; 1939-1998) y Santander (43°27'N, 03°49'O; 1924-1996), ambas junto a la costa cantábrica y distantes entre sí unos 155 km. Las correlaciones entre las series mensuales de temperatura y precipitación de ambas estaciones son altamente significativas (r varía entre

0,487 y 0,876, $p < 0,001$ en todos los casos), lo cual justifica la combinación de las series para obtener un registro regional de temperatura y precipitación. El registro obtenido se restringió a 1939-1996, período común para las series de ambas estaciones. Las series mensuales de variación del índice NAO para el período 1865-2000 fueron obtenidas de la dirección “<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>”.

Se seleccionaron cinco localidades de estudio que cumplen los requisitos de cercanía geográfica al litoral cantábrico y presencia de rodales de árboles maduros. En la zona occidental de Cantabria se seleccionó el bosque de Caviedes (Valdáliga), con *F. sylvatica* y *Q. robur* como especies dominantes, de 120 ha de extensión, orientación noroeste y altitud media de 140 m (43°20'N, 04°17'O). En la zona oriental de Asturias se seleccionó una población de *F. sylvatica* que cubre 32 ha en la sierra de Cuera (Peñamellera Alta), con una altitud de 1080 m (43°21'N, 04°46'O). Otra población de *F. sylvatica* fue seleccionada en el monte Texedo (Parres), de 127 ha con orientación noreste y 750 m de altitud (43°17'N, 05°11'O). En la sierra de Suevo (Colunga) fue seleccionada una población de *Q. robur* sobre 43 ha, con orientación sureste y una altitud media de 650 m (43°26'N, 05°13'O). Finalmente, en la localidad de Tragamón (Gijón) se seleccionó una población de *Q. robur* de 4 ha sobre terreno llano y altitud media de 40 m (43°31'N, 05°37'O).

De cada árbol se extrajeron testigos a 1,3 m sobre el suelo. Los testigos fueron dejados secar, encolados sobre soportes de madera y pulidos con lijas de grano cada vez más fino. Se realizó una datación previa de cada serie de anillos de crecimiento y las series de anchuras totales de los anillos fueron medidas con una precisión de 0,01 mm, mediante una plataforma Velmex de medición de incrementos conectada a un ordenador. Los posibles errores en los procesos de datación de las muestras fueron contrastados mediante el programa COFECHA, el cual realiza la datación cruzada de cada serie de crecimiento frente a una cronología maestra de referencia (GRISSINO-MAYER, 2001).

Se seleccionaron aquellas series de crecimiento que mostraron una correlación con la cronología maestra mayor que 0,40. Fueron seleccionadas 153 series de crecimiento procedentes de 125 árboles. Todas las series seleccionadas fueron estandarizadas aplicando un modelo lineal descendente o exponencial negativo para eliminar la tendencia debida al aumento del tamaño y la edad, y seguidamente un modelo spline cúbico para reducir la variación debida a perturbaciones en bosques densos. Las cronologías fueron calculadas como la media robusta de los residuos individuales, y el modelado autorregresivo de las cronologías permitió eliminar la autocorrelación serial. La estandarización de las series y el cálculo de las cronologías se realizó mediante el programa ARSTAN (COOK y HOLMES, 1996). La similitud entre las cronologías obtenidas fue calculada mediante análisis de correlación en el período común a todas ellas.

La señal climática de las cronologías residuales fue evaluada mediante el coeficiente de correlación de Pearson y análisis de función respuesta. Estos análisis se realizaron mediante el programa PRECONK versión 5.11 (Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona), el cual contrasta la significación estadística, la estabilidad de los coeficientes de regresión y la calibración-verificación del modelo. Los análisis se efectuaron para 1940–1996 en el caso de la temperatura y precipitación regionales, y para 1900–1997 en el caso del índice NAO. La ventana climática considerada se extiende desde enero del año previo a la formación del anillo de crecimiento (año $t-1$), hasta agosto del año en que se formó el anillo (año t).

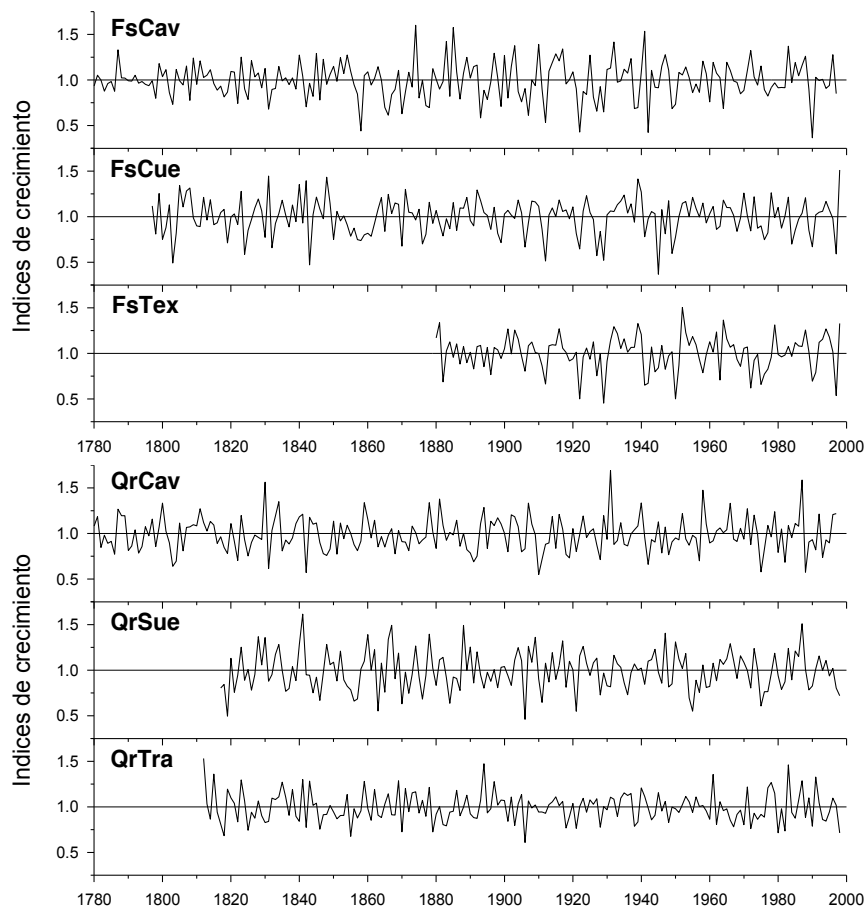


Fig. 1. Cronologías residuales de índices de crecimiento de haya y roble. Solo se muestran los períodos con un tamaño de muestra de al menos cinco testigos por año. Abreviaturas: cronologías de *F. sylvatica* de Caviedes (FsCav), Cuera (FsCue) y Texedo (FsTex) y cronologías de *Q. robur* de Caviedes (QrCav), Sueve (QrSue) y Tragamón (QrTra).

3. RESULTADOS

El número de testigos a partir de los que se elaboraron las cronologías varió entre 20 y 30, procedentes de entre 15 y 29 árboles por cronología (tabla 1). El número de anillos analizados por cronología, para los períodos que incluyen al menos cinco testigos por año, osciló entre 2042 y 5237. La menor anchura media de los anillos analizados se registró en los testigos de haya de Caviedes con 1,29 mm, mientras que la mayor tasa de crecimiento observada correspondió a las muestras de haya de Texedo, con una anchura media de los anillos de 3,01 mm. Los valores de sensibilidad media calculados en las cronologías residuales oscilaron entre 0,19 y 0,27. Tanto los valores de correlación media entre árboles, como el porcentaje de varianza en el primer vector propio y la relación señal-ruido fueron mayores en las cronologías de haya que en las de roble (tabla 1).

ANÁLISIS DE LA SEÑAL CLIMÁTICA EN CRONOLOGÍAS DE *Fagus sylvatica* Y *Quercus robur* EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA CORNISA CANTÁBRICA

	FsCav	FsCue	FsTex	QrCav	QrSue	QrTra
Intervalo con ≥ 5 testigos	1776-1997	1797-1998	1880-1998	1780-1997	1817-1998	1812-2000
Número de árboles	23	29	15	17	16	25
Número de testigos	25	30	20	20	28	30
Número de anillos	5008	4278	2042	3254	4113	5237
Anchura media de los anillos (mm)	1,29	1,37	3,01	1,63	1,54	1,50
Desviación estándar	0,79	0,68	1,36	0,87	0,79	0,96
Sensibilidad media	0,23	0,22	0,25	0,21	0,27	0,19
Correlación entre árboles	0,41	0,42	0,51	0,31	0,37	0,33
Varianza en el primer vector propio (%)	44,39	44,31	54,97	38,93	38,03	37,17
Relación señal-ruido	15,77	20,62	13,42	5,28	8,09	11,53

Tabla 1. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LOS TESTIGOS Y LAS CRONOLOGÍAS RESIDUALES. SE MUESTRAN TAMBIÉN LOS COEFICIENTES R^2 DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS, JUNTO CON SUS BANDAS DE ERROR, CALCULADOS MEDIANTE FUNCIONES RESPUESTA PARA LOS DATOS TERMOPLUVIOMÉTRICOS REGIONALES Y LOS ÍNDICES MENSUALES DE LA NAO. TODOS LOS COEFICIENTES R^2 FUERON SIGNIFICATIVOS AL NIVEL $P < 0,001$. ABREVIATURAS COMO EN LA FIG 1.

Cronología	FsCav	FsCue	FsTex	QrCav	QrSue	QrTra
FsCav		0,326***	0,222*	0,051	0,071	0,176
FsCue	45		0,594***	0,014	0,217*	0,120
FsTex	78	37		0,149	0,119	0,016
QrCav	0	45	78		0,329***	0,395***
QrSue	79	35	16	79		0,207*
QrTra	117	74	46	117	39	

Tabla 2. MATRIZ DE CORRELACIONES (SUPERIOR) ENTRE LAS SEIS CRONOLOGÍAS RESIDUALES CALCULADAS PARA EL PERÍODO 1880–1997, Y MATRIZ DE DISTANCIAS (INFERIOR, EN KM) EN LÍNEA RECTA ENTRE LAS LOCALIDADES DE MUESTREO. ABREVIATURAS COMO EN LA FIG. 2. *: $P < 0,05$; ***: $P < 0,001$.

Los análisis de correlación para el período 1880–1997 indicaron que existe una correspondencia significativa para las cronologías de haya entre sí y para las cronologías de roble entre sí, independientemente de la distancia geográfica entre las mismas (tabla 2). Únicamente se detectó una correlación significativa, entre cronologías de especies diferentes, en el caso de la cronología de haya del Cuera y la de roble de Suevo. Entre las cronologías de haya, las más similares fueron las de Cuera y Texedo, probablemente por encontrarse próximas geográficamente y a una relativamente elevada altitud. Entre las cronologías de roble, las que mostraron mayor similitud fueron las de Caviedes y Tragamón, probablemente por encontrarse ambas muy próximas a la costa y a baja altitud, a pesar de estar muy distantes geográficamente. Las cronologías de la misma especie que presentaron menor correlación fueron las de Caviedes y Texedo para el haya, y las de Suevo y Tragamón para el roble (tabla 2).

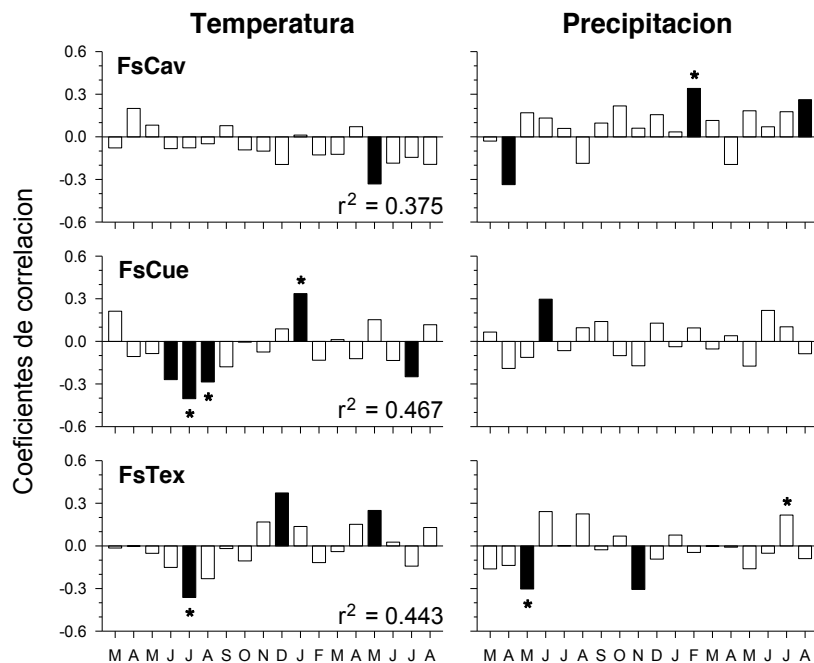


Fig 2. Análisis de correlación entre las cronologías residuales de *F. sylvatica* y la temperatura media mensual y la precipitación mensual para el período 1940–1996. Las barras sólidas indican una relación significativa al nivel $p < 0,05$. Los asteriscos indican elementos significativos ($p < 0,05$) de las funciones respuesta. Se muestra la r^2 de cada modelo. Los códigos de las cronologías se indican en la Figura 1.

Los resultados obtenidos en los análisis de correlación entre las cronologías y los parámetros climáticos regionales pusieron de manifiesto la existencia de una notable heterogeneidad en el patrón de respuesta climática de ambas especies, probablemente como consecuencia de un relevante componente local en el control de la dinámica del crecimiento radial. La proporción de variabilidad de las cronologías residuales explicada por los modelos climáticos fue relativamente elevada, entre 37,5 y 49,8%, indicando que todas las cronologías mostraron una notable sensibilidad a las fluctuaciones climáticas regionales. En el caso de *F. sylvatica* se

puso de manifiesto un efecto negativo de las elevadas temperaturas en el verano del año previo al crecimiento, especialmente en los meses de julio y agosto, expresado en las cronologías de Cuera y Texedo (figura 2). Estas cronologías mostraron una correlación positiva con las temperaturas del invierno previo al crecimiento, durante los meses de diciembre y enero. Un efecto negativo de las temperaturas en el mes de mayo del año en que se formó el anillo se evidenció solo para la cronología de Caviedes, mientras que el efecto negativo de las temperaturas en julio del año en que se formó el anillo se puso de manifiesto para la cronología de Cuera. Los efectos de la precipitación sobre el crecimiento de *F. sylvatica* no fueron coincidentes entre ninguna de las cronologías estudiadas. En el caso de Caviedes se produjo una respuesta positiva a la precipitación en febrero y agosto del año en que produjo el crecimiento, en Cuera solo se detectó un efecto positivo de la precipitación en junio del año previo al crecimiento, y en Texedo se observó una respuesta negativa a la precipitación en mayo y noviembre del año previo al crecimiento (figura 2).

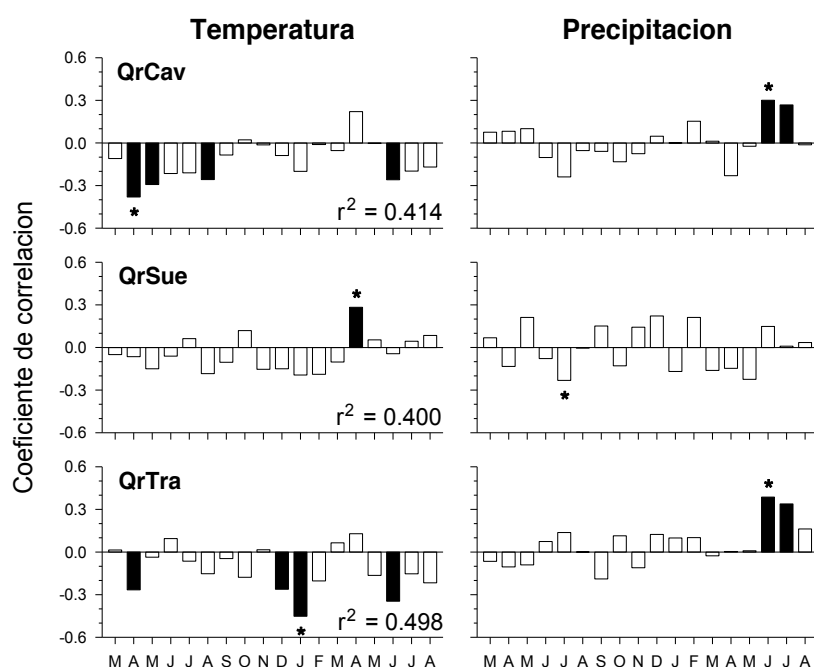


Fig. 3. Análisis de correlación entre las cronologías residuales de *Q. robur* y la temperatura media mensual y la precipitación mensual para el período 1940–1996. Las barras sólidas indican una relación significativa al nivel $p < 0,05$. Los asteriscos indican elementos significativos ($p < 0,05$) de las funciones respuesta. Se muestra la r^2 de cada modelo. Los códigos de las cronologías se indican en la Figura 1.

En el caso de *Q. robur*, el efecto negativo de las temperaturas de la primavera del año anterior a la formación del anillo, en los meses de abril y mayo, se pusieron en evidencia para Caviedes y Tragamón (figura 3). Los efectos negativos de las temperaturas invernal (diciembre y enero) y estival (junio) previas al crecimiento se evidenciaron solamente en el caso de Tragamón, mientras que solo en Suevo se puso de manifiesto un efecto positivo de la temperatura en el mes de abril del año en que se produjo el crecimiento. En cuanto a la respuesta de *Q. robur* a la precipitación, esta fue idéntica para las cronologías de Caviedes y

Tragamón, con un efecto positivo en junio y julio del año de crecimiento, mientras que en Suevo no se observó efecto de la precipitación regional.

Los análisis de la relación entre el crecimiento radial y los índices mensuales de la NAO revelaron una respuesta diferencial propia de cada especie. Los modelos de la función de respuesta climática explicaron menos variabilidad de las cronologías regionales que en el caso de la respuesta a la temperatura y precipitación regionales, con porcentajes que variaron entre 12,7 y 25,8%. En el caso de *F. sylvatica*, se obtuvieron correlaciones negativas significativas con los índices NAO invernales, de los meses de enero, febrero y marzo del año previo al crecimiento (Figura 4). En el caso de *Q. robur*, tanto en la cronología de Caviedes como en la de Tragamón se obtuvieron correlaciones negativas significativas con el índice NAO de septiembre del año previo al crecimiento y con los índices de enero-febrero del año de crecimiento. La cronología de Suevo únicamente mostró una relación positiva con el índice NAO de abril del año previo al crecimiento (figura 4).

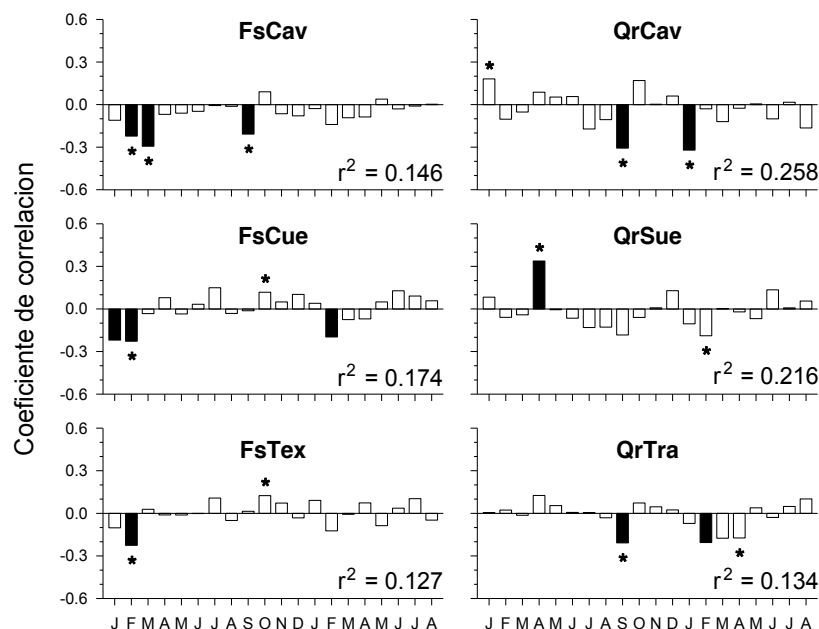


Fig. 4. Análisis de correlación entre las cronologías residuales de *F. sylvatica* y *Q. robur* y los índices NAO mensuales para el período 1900–1997. Las barras sólidas indican una relación significativa al nivel $p < 0,05$. Los asteriscos indican elementos significativos ($p < 0,05$) de las funciones respuesta. Se muestra la r^2 de cada modelo. Los códigos de las cronologías se indican en la Figura 1.

4. DISCUSIÓN

Los estadísticos descriptivos de las cronologías son comparables a los de otras regiones ibéricas y europeas (GUTIÉRREZ, 1988; DITTMAR *et al.*, 2003). Los valores de sensibilidad media son comparables en todas las cronologías, lo que indica una variabilidad interanual similar entre especies y localidades. Las poblaciones de *F. sylvatica* muestran una mejor sincronización entre los patrones de crecimiento radial individuales. Esta sincronización fue expresada como una correlación entre árboles, varianza en el primer vector

propio y relación señal-ruido mayores que en las cronologías de *Q. robur*. En ambas especies los valores de correlación entre árboles se encuentran dentro del rango de variabilidad esperado para frondosas caducifolias (PEDERSON *et al.*, 2004).

Las correlaciones entre cronologías evidencian una similitud en los patrones de crecimiento al nivel de especie, ya que todas las cronologías de la misma especie están significativamente correlacionadas. También entre altitudes, ya que las correlaciones mayores se obtuvieron entre cronologías de altitudes comparables. La proximidad geográfica ha podido determinar en buena medida la correlación entre las cronologías de Cuera y Texedo. No es este el caso de las cronologías de Caviedes y Tragamón, ya que estas son las que se encuentran más alejadas entre sí. La combinación altitud-orientación podría ser un importante factor de control de los patrones de crecimiento radial y la respuesta climática (GUTIÉRREZ, 1988; DITTMAR *et al.*, 2003).

Los parámetros regionales más limitantes para el crecimiento de *F. sylvatica* a altitudes por encima de los 700 m fueron las elevadas temperaturas estivales del año previo al crecimiento y las bajas temperaturas invernales. La relación negativa con la temperatura en julio y agosto del año previo ha sido anteriormente documentada (GUTIÉRREZ, 1988; DITTMAR *et al.*, 2003), lo cual indicaría que el estrés hídrico estival puede causar una disminución del crecimiento en la estación siguiente. La relación positiva con la temperatura en diciembre o enero se ha observado también en altitudes elevadas (GUTIÉRREZ, 1988; BIONDI, 1993; DITTMAR *et al.*, 2003), indicando que *F. sylvatica* es sensible a los fríos invernales en áreas de montaña.

En las localidades de baja altitud, las elevadas temperaturas de primavera del año previo a la formación del anillo, durante los meses de abril y mayo, han manifestado una relación inversa con el crecimiento de *Q. robur*. Su interpretación podría estar relacionada con la necesidad de temperaturas moderadas cuando los brotes se están desarrollando. El efecto negativo de la temperatura invernal sobre el crecimiento de *Q. robur*, durante los meses de diciembre y enero, ha sido constatado en Europa occidental (PILCHER y GRAY, 1982). Es el resultado de una activación del metabolismo en una época en que el árbol no puede suplir la pérdida de carbohidratos, comprometiendo el crecimiento durante la siguiente estación (PILCHER y GRAY, 1982). La precipitación estival favoreció el crecimiento de *Q. robur* en Caviedes y Tragamón. En diversas localidades, el crecimiento radial de los robles muestra una relación positiva con la precipitación estival (TESSIER *et al.*, 1994; ROZAS, 2001, 2005). La lluvia estival permite la prolongación de la estación de crecimiento hasta el final del verano, produciendo más leño tardío y anillos más anchos (GARCÍA GONZÁLEZ y ECKSTEIN, 2003).

Los índices NAO en enero, febrero y marzo del año previo a la formación del anillo guardan una relación negativa con el crecimiento radial de *F. sylvatica*. Una relación negativa con el NAO de los meses invernales ha sido evidenciada para esta especie en los Apeninos centrales (PIOVESAN y SCHIRONE, 2000) y en poblaciones escandinavas de *Picea abies* (MÄKINEN *et al.*, 2003). En las cronologías de *Q. robur* de Caviedes y Tragamón se descubrió también una relación negativa entre el crecimiento y los índices NAO invernales. La interpretación fisiológica de estos resultados dista de ser desentrañada. Ya que la NAO condiciona en gran medida el clima de amplias regiones de Europa, puede tratarse de un efecto indirecto sobre el crecimiento a través de la modulación del clima regional. El hecho de que la NAO guarde una relación directa con la precipitación en el norte de Europa e inversa en el sur (HURRELL, 1995), podría ser una explicación de la respuesta diferencial que el

crecimiento presenta a los índices NAO a diferentes latitudes. En todo caso, los resultados obtenidos son preliminares y sugieren la necesidad de realizar investigaciones más extensas y exhaustivas sobre la caracterización del crecimiento radial y su respuesta climática a lo largo de la Cornisa Cantábrica.

5. AGRADECIMIENTOS

Miguel Ángel Álvarez, Pilar Álvarez-Uría, Cecilia Díaz y Carlos LeQuesne participaron en la realización de los muestreos y Cecilia Díaz colaboró en el procesado y análisis de las muestras. Esta investigación fue parcialmente financiada por la FICYT (PP-REC98-04) y la Consejería de Medio Ambiente del Principado de Asturias (SV-PA-00-01). VRO desarrolló la presente comunicación gracias a un contrato postdoctoral INIA-Xunta de Galicia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BIONDI, F. (1993). Climatic signals in tree rings of *Fagus sylvatica* L. from the central Apennines, Italy. *Acta Oecologica* 14, 57-71.
- BLASING, T.J.; DUVICK, D.N. y WEST, D.C. (1981). Dendroclimatic calibration and verification using regionally averaged and single station precipitation data. *Tree-Ring Bulletin* 41, 37-43.
- COOK, E.R.; D'ARRIGO, R.D. y MANN, M.E. (2002). A well-verified, multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic oscillation index since A.D. 1400. *Journal of Climate* 15, 1754-1764.
- COOK, E.R. y HOLMES, R.L. (1996). Guide for computer program ARSTAN. En: *The International Tree-Ring Data Bank Program Library Version 2.0 User's Manual*. Grissino-Mayer H.D., Holmes R.L., Fritts H.C., eds. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, pp. 75-87.
- DITTMAR, C.; ZECH, W. y ELLING, W. (2003). Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe—a dendroecological study. *Forest Ecology and Management* 173, 63-78.
- GARCÍA GONZÁLEZ, I. y ECKSTEIN, D. (2003). Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. *Tree Physiology* 23, 497-504.
- GRISSINO-MAYER, H.D. (2001). Assessing crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57, 205-221.
- GUTIÉRREZ, E. (1988). Dendroecological study of *Fagus sylvatica* L. in the Montseny mountains (Spain). *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum* 9, 301-309.
- HURRELL, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science* 269, 676-679.
- MÄKINEN, H.; NÖJD, P.; KAHLE, H.-P.; NEUMANN, U.; TVEITE, B.; MIELIKÄINEN, K.; RÖHLE, H. y SPIECKER, H. (2003). Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees* 17, 173-184.
- PEDERSON, N.; COOK, E.R.; JACOBY, G.C.; PETEET, D.M. y GRIFFIN, K.L. (2004). The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia* 22, 7-29.

PILCHER, J.R. y GRAY, B. (1982). The relationships between oak tree growth and climate in Britain. *Journal of Ecology* 70, 297-304.

PIOVESAN, G. y SCHIRONE, B. (2000). Winter North Atlantic oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (*Fagus sylvatica* L.). *International Journal of Biometeorology* 44, 121-127.

ROZAS, V. (2001). Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, northern Spain. *Annals of Forest Science* 58, 237-251.

ROZAS, V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science* 62, 209-218.

TARDIF, J.; CAMARERO, J.J.; RIBAS, M. y GUTIÉRREZ, E. (2003). Spatiotemporal variability in tree growth in the central Pyrenees: climatic and site influences. *Ecological Monographs* 73, 241-257.

TESSIER, L.; NOLA, P. y SERRE-BACHET, F. (1994). Deciduous *Quercus* in the Mediterranean region: tree-ring/climate relationships. *New Phytologist* 126, 355-367.